

不同放牧强度对高寒草甸有毒植物多样性的影响

王志鹏, 张兆杰, 花立民

(甘肃农业大学 草业学院/草业生态系统教育部重点实验室/甘肃省草业工程实验室/中-美草地畜牧业可持续发展研究中心, 甘肃 兰州 730070)

摘要:通过研究祁连山东段高寒草甸不同放牧强度下有毒植物丰富度、Shannon-Wiener 指数、Pielou 均匀度指数变化, 结果表明: 轻度放牧区有毒植物 3 个生物多样性指数均较高, 丰富度和 Shannon-Wiener 指数都显著性高于其他 3 个放牧区, 但 Pielou 指数与中度放牧区差异不显著($P > 0.05$); 同时轻度放牧区内有毒植物月份间变幅较大且差异显著($P < 0.05$)。过度放牧区有毒植物的 3 个多样性指数在 6, 7 和 8 月都显著性高于中度和重度放牧区($P < 0.05$), 但在 10 月显著低于其他 3 个放牧强度下有毒植物的生物多样性($P < 0.05$); 同时过度放牧区内有毒植物丰富度月份间变幅最大且差异显著($P < 0.05$)。中度和重度有毒植物生物多样性指数较低, 在 6~8 月, 中度放牧区有毒植物的丰富度和 Shannon-Wiener 指数低于其他 3 个放牧区, 但 Pielou 指数较高; 同时中度和重度放牧区生物多样性指数月份间变幅较小。

关键词:高寒草甸; 有毒植物; 群落特征; 时空演替

中图分类号:S812 **文献标志码:**A **文章编号:**1009-5500(2019)05-0075-07

DOI: 10.13817/j.cnki.cyycp.2019.05.010

青藏高原拥有我国乃至世界独特的高寒草甸生态系统, 对中国和亚洲的生态安全具有重要影响^[1]。近年来, 在全球气候变化和人为干扰下, 高寒草甸退化严重, 毒杂草在草地植物群落中不断增加, 禾本科、莎草科、豆科等可食牧草比例逐渐下降, 对草地生产力和畜牧业的发展造成严重影响^[2-5]。

放牧是天然草地最常见的利用方式^[6], 放牧干扰对草地植物群落以及多样性的影响已是草地生态学的

研究热点之一。家畜通过选择性采食直接影响植物的种群动态, 进而改变群落结构^[7-8]。有毒植物生长速度快、繁殖力强等特点使其能够快速侵占大面积的天然草地, 同时, 有些有毒植物可以向环境中释放大量的化感物质, 抑制牧草生长从而导致草地退化^[9-10]。

近年来, 国内外学者对放牧强度和植被群落特征的关系进行了较多的研究报道, 但对放牧强度与有毒植物群落在时间尺度上的动态变化报道较少。基于此, 以青藏高原东缘高寒草甸为研究对象, 分析放牧强度与有毒植物物种多样性在放牧期内的关系, 以明晰放牧对有毒植物的影响程度, 为进一步研究有毒植物在草原生态系统生态和生产功能的作用和地位奠定基础。

1 材料和方法

1.1 研究区概况

研究区位于东祁连山的天祝金强河河谷, 地理位置为 N 37°11'48", E 102°47'10", 海拔 2 960 m。海拔高, 气温低而寒冷, 昼夜温差大, 日照强烈, 水热同期。

收稿日期:2018-04-08; **修回日期:**2019-08-30

基金项目:川西北和甘南退化高寒生态系统综合整治项目(2017YFC0504803); 三江源区退化高寒生态系统恢复技术及示范项目(2016YFC0501902); 甘肃省高校协同创新科技团队支持计划项目; 国家自然科学基金项目(31460635)资助。

作者简介:王志鹏(1992-), 内蒙古锡盟人, 硕士研究生。

E-mail: 2856444826@qq.com

花立民为通讯作者。

E-mail: hualm@gsau.edu.cn

年均气温 $-0.3\sim 0^{\circ}\text{C}$,最冷月1月平均气温 -18.3°C ,最热月7月平均气温 12.7°C , $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 年积温为 $1\ 300^{\circ}\text{C}$;年降水量 416 mm ,多集中在生长期;年蒸发量 $1\ 590\text{ mm}$,约为年降水量的4倍。可食性牧草主要以矮嵩草(*Kobresia humilis*)、西北针茅(*Stipa sareptana*)、垂穗披碱草(*Elymus nutans*)、阴山扁蓿豆(*Medicago ruthenica*)、冷地早熟禾(*Poa annua*)为主。有毒植物主要有黄花棘豆(*Oxytropis ochrocephala*)、高山唐松草(*Thalictrum alpinum*)、变异黄芪(*Astragalus variabilis*)、秦艽(*Gentiana macrophylla*)等^[11-12]。

1.2 样地设置

试验样地在天祝金强河甘肃农业大学试验站。放牧家畜为高山细毛羊。根据试验地多年来的地上植物生物量,放牧时间以及草地面积确定放牧强度,并以当地牧户近年来的放牧强度作为参考,在试验地设置轻度(LG)、中度(MG)、重度(HG)和过度(OG)4个放牧梯度(表1)。

表1 研究样地设置
Table 1 Experiment design

处理	面积 /hm ²	家畜数	放牧强度	家畜体重 /(kg·头 ⁻¹)
		/(头·hm ⁻²)		
LG	2.18	6.00	2.75	51.17
MG	1.61	7.00	4.36	51.17
HG	2.50	13.00	5.19	51.20
OG	1.20	26.00	21.67	51.18

1.3 野外调查与指标测定

于2015年6月中旬的牧草泛青期到10月中旬开展野外草地植物群落监测试验。采用随机固定W型路线的方法^[12]在样地选取9个 $50\text{ cm}\times 50\text{ cm}$ 的样方,测定各物种的盖度,过度放牧区由于面积较小,随机选取3个。在各样地随机抛面积为 0.1 m^2 的样圆60次,测出现在的所有植物种的频度。每种植物测量株高10次。

1.4 数据分析

(1)物种丰富度指数(D),测定有毒植物物种数:

$$D = S$$

式中:S为样方内出现的有毒植物物种数。

(2)生物多样性指数,采用Shannon-Wiener指数(H):

$$H = -\sum P_i \ln P_i$$

式中: P_i 为种*i*的个体数在群落所有种中所占的重要值。

(3)均匀度指数,采用Pielou指数(E):

$$E = H / H_{\max}$$

式中:H为实际观察的物种丰富度指数, H_{\max} 为最大物种丰富度性指数, $H_{\max} = \ln S$,S为群落处理样地的总物种数。

采用SPASS 20.0软件进行不同放牧强度与有毒植物优势度、物种丰富度指数、生物多样性指数、均匀度指数的差异显著性分析和显著性检验。

2 结果与分析

2.1 试验区有毒植物的种类

根据《中国有毒植物》《甘肃草地资源》等文献资料,统计出试验区内所有有毒植物种类及名称。试验区出现有毒植物23种,分属于13科,以毛茛科、玄参科、菊科、豆科为主^[13-14]。

2.2 有毒植物生物多样性在时空尺度上的变化

2.2.1 有毒植物丰富度变化 在各个特定的放牧强度下,有毒植物丰富度不同月季间出现重要变化。轻度放牧下,随着时间的推移,8、9和10月之间出现显著差异,并且在8月达到最大值。中度放牧下,8、9月丰富度较高,显著高于其他月。在重度放牧下,有毒植物种数以7月为最高,依次为8、9月。在过度放牧区,8月有毒植物丰富度显著高于其他月,其余月份有毒植物丰富度随时间递减。在不同的月份,有毒植物丰富度在不同的放牧强度下呈现出明显变化。6月,在轻度放牧下达到最大,其次为过度放牧。7月,重牧区域内有毒植物丰富度都达到最大,其次为轻牧。8月,不同放牧强度下均出现显著差异,排序为轻度放牧>过度放牧>中度放牧>重度放牧。9月,轻度放牧下有毒植物丰富度出现最大值,而且中度放牧下的值也较大。10月,物种丰富度在放牧梯度下表现出的趋势与其他月不同,排序为重度放牧>中度放牧>轻度放牧>过度放牧。整体表现为有毒植物丰富度在7月或8月达到最高值,之后丰富度表现出下降的趋势。在轻度放牧和过度放牧强度下,有毒植物在6~8月丰富度高于中度放牧和重度放牧,在8月后低于中度放牧和重度放牧(表3)。

表 2 天祝县抓喜秀龙高寒草甸试验区中有毒植物种类

Table 2 The list of poisonous plants in alpine meadow

科名	属名	种名	有毒部位
豆科 Leguminosae	黄芪属 <i>Astragalus</i>	变异黄芪 <i>Astragalus variabilis</i>	全株
豆科 Leguminosae	棘豆属 <i>Oxytropis</i>	黄花棘豆 <i>Oxytropis ochrocephala</i>	全株
毛茛科 Ranunculaceae	唐松草属 <i>Thalictrum</i>	高山唐松草 <i>Thalictrum alpinum</i>	全株
毛茛科 Ranunculaceae	乌头属 <i>Aconitum</i>	露蕊乌头 <i>Aconitum gymnandrum</i>	全株
毛茛科 Ranunculaceae	银莲花属 <i>Anemone</i>	银莲花 <i>Anemone cathayensis</i>	全株
毛茛科 Ranunculaceae	毛茛属 <i>Ranunculus</i>	毛茛 <i>Ranunculus japonicus</i>	全株
菊科 Asteraceae	紫菀属 <i>Aster</i>	高山紫菀 <i>Aster alpinus</i>	全株
菊科 Asteraceae	香青属 <i>Anaphalis</i>	乳白香青 <i>Anaphalis lactea</i>	全株
菊科 Asteraceae	天名精属 <i>Carpesium</i>	天名精 <i>Carpesium abrotanoides</i>	全株
玄参科 Scrophulariaceae	肉果草属 <i>Lancea</i>	兰石草 <i>Tibet lancea</i>	
玄参科 Scrophulariaceae	马先蒿属 <i>Pedicularis</i>	甘肃马先蒿 <i>Pedicularis kansuensis</i>	全株
玄参科 Scrophulariaceae	婆婆纳属 <i>Veronica</i>	婆婆纳 <i>Veronica</i>	茎、叶
玄参科 Scrophulariaceae	小米草属 <i>Euphrasia</i>	小米草 <i>Euphrasia pectinata</i>	全株
龙胆科 Gentianaceae	龙胆属 <i>Gentiana</i>	线叶龙胆 <i>Gentiana farreri</i>	全株
龙胆科 Gentianaceae	龙胆属 <i>Gentiana</i>	秦艽 <i>Gentiana macrophylla</i>	全株
禾本科 Poaceae	芨芨草属 <i>Achnatherum</i>	醉马草 <i>Achnatherum inebrians</i>	全株
木贼科 Equisetaceae	木贼属 <i>Equisetum</i>	问荆 <i>Equisetum arvense</i>	全株
葱科 Alliaceae	葱属 <i>Alliaceae</i>	高山韭 <i>Allium sikkimense</i>	全株
唇形科 Lamiaceae	香薷属 <i>Elsholtzia</i>	密花香薷 <i>Elsholtzia densa</i>	全株
紫草科 Boraginaceae	微紫草属 <i>Microula</i>	微孔草 <i>Microula sikkimensis</i>	全株
车前科 Plantaginaceae	车前属 <i>Plantago</i>	平车前 <i>Plantago depressa</i>	全株
罂粟科 Papaveraceae	角茴香属 <i>Hypecoum</i>	角茴香 <i>Hypecoum erectum</i>	全株
石竹科 Caryophyllaceae	蚤缀属 <i>Arenaria</i>	蚤缀 <i>Arenaria serpyllifolia</i>	全株

表 3 有毒植物的物种丰富度

Table 3 The list of poisonous plants in alpine meadow

处理	丰富度				
	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月
LG	15.444 ^{Ba}	13.111 ^{Cb}	17.222 ^{Aa}	13.222 ^{Ca}	7.0 ^{Dc}
MG	9.556 ^{Bc}	9.000 ^{Cd}	11.111 ^{Ac}	11.000 ^{Ab}	9.2 ^{Cb}
WG	10.222 ^{Bc}	15.111 ^{Aa}	9.111 ^{Cd}	9.111 ^{Cc}	10.2 ^{Ba}
EG	12.667 ^{Bb}	10.000 ^{Cc}	14.333 ^{Ab}	7.333 ^{Dd}	4.0 ^{Ed}

注:同行不同大写字母表示不同月份间差异显著($P < 0.05$);同列不同小写字母表示不同放牧强度下差异显著($P < 0.05$)。下同

2.2.2 有毒植物 Shannon-Wiener 指数变化 祁连山东段高寒草甸有毒植物 Shannon-Wiener 指数随着放牧强度的不同而有所变化(表 4)。从时间尺度上分析,6 月的有毒植物群落 Shannon-Wiener 指数较大,在轻度放牧达到最大值。在物种生育期末的 9、10 月,Shannon-Wiener 指数显著低于前面的月份,并且除了

重度放牧区,2 个月之间均出现显著差异。从空间尺度分析,轻度放牧下,毒草的多样性指数较高,在 6、8 和 9 月达到最大值。不同月表现出不同的变化趋势,6 月与 8 月的 Shannon-Wiener 指数从重度放牧到过重度放牧表现出升高的趋势。10 月不同处理的数值均显著小于其他月,值得注意的是,在重度放牧区多样性指数显著高于中度放牧区。过度放牧下,毒草的多样性指数在各月均低于轻度放牧,6 月是过度放牧区毒草多样性指数最高的时间。10 月过度放牧区毒草多样性指数要低于其他放牧处理。除重度放牧处理外,其他处理下,毒草的多样性指数都表现出 7 月降低、8 月升高,之后的 2 个月降低的趋势。整体分析,试验区内有毒植物 Shannon-Wiener 指数随植物生长季表现出 7 月分降低,8 月分升高之后逐步降低的趋势,即使放牧强度不同,在 10 月都达到了 Shannon-Wiener 指数最低值。

表 4 试验区有毒植物的 Shannon-Wiener 指数
Table 4 The Shannon Wiener index of poisonous plants

处理	Shannon-Wiener 指数				
	06 月	07 月	08 月	09 月	10 月
LG	4.711±0.028 ^{Aa}	3.355±0.012 ^{Cb}	3.745±0.038 ^{Ba}	3.352±0.028 ^{Ca}	1.668±0.351 ^{Dc}
MG	2.660±0.026 ^{Bc}	2.357±0.033 ^{Cd}	2.830±0.019 ^{Ac}	2.410±0.158 ^{Cb}	1.951±0.090 ^{Db}
WG	2.323±0.058 ^{Bd}	3.626±0.296 ^{Aa}	2.257±0.125 ^{Bcd}	2.1887±0.136 ^{Bc}	2.108±0.325 ^{Ca}
EG	3.912±0.017 ^{Ab}	2.861±0.019 ^{Cc}	3.434±0.036 ^{Bb}	1.987±0.074 ^{Dd}	0.819±0.020 ^{Ed}

2.2.3 有毒植物 Pielou 指数变化 祁连山东段高寒草甸有毒植物 Pielou 指数随着生境的时空改变而有所变化(表 5)。从时间尺度分析,轻度放牧下,Pielou 指数月季间均出现显著差异,10 月显著小于其他月。中度放牧下,表现出先降低后升高的趋势,6 月 Shannon-Wiener 值较高,8,9 和 10 月无显著差异。重度放牧下,返青期的 Pielou 指数较小,7 月达到最大,10 月 Shannon-Wiener 指数值也较高。过度放牧下,7、8 月

值较大,随着时间的推移,表现出显著降低的趋势。从空间尺度分析,特定月份不同处理均表现出显著差异。6 月中度放牧区的值最大,与其他各区差异显著。7 月,不同处理间均为显著差异,重牧区最大,轻牧区值最小。8 月,轻度放牧区达到最大值,重度放牧区值最小,随后显著升高。9 月,随牧压的升高,Pielou 指数连续降低。10 月均匀度指数表现先升高后降低的趋势。

表 5 有毒植物的 Pielou 指数
Table 5 The Pielou index of poisonous plants

处理	Pielou 指数				
	06 月	07 月	08 月	09 月	10 月
LG	0.745±0.032 ^{Ba}	0.706±0.024 ^{Dc}	0.774±0.023 ^{Aa}	0.724±0.027 ^{Ca}	0.593±0.017 ^{Eb}
MG	0.771±0.074 ^{Aa}	0.65±0.018 ^{Cd}	0.695±0.046 ^{Bc}	0.695±0.022 ^{Bb}	0.687±0.051 ^{Ba}
WG	0.656±0.076 ^{Cb}	0.756±0.025 ^{Aa}	0.662±0.037 ^{Cd}	0.656±0.045 ^{Cc}	0.698±0.064 ^{Ba}
OG	0.692±0.032 ^{Bb}	0.715±0.014 ^{Ab}	0.718±0.066 ^{Ab}	0.602±0.017 ^{Cd}	0.504±0.089 ^{Dc}

3 讨论

3.1 时间对有毒植物生物多样性的影响

研究不同放牧强度下有毒植物种群特征的变化,将为深入理解放牧等人类活动对草地生态造成的危害提供直接快捷的评价指标^[15]。从时间尺度上有毒植物的丰富度表现出先降低再升高再降低的趋势。其中 6 月有毒植物丰富度较高,这可能与有毒植物生长速度快和草地基本情况有关。6 月是植物返青期,此时有毒植物生长速度快于禾本科等牧草,在水肥资源竞争中占据优势地位。7~8 月,可食牧草在与有毒植物的水肥竞争中逐渐取得优势,最终取代了有毒植物在群落中的优势地位。在 9 月植物枯黄期,对家畜而言食物资源的质量降低,选择性采食开始转变为被迫采食,所以有毒植物的丰富度降低。10 月是牧草消亡期,有毒植物的重要值普遍低于其他月份。其原因可

能是 9 月食物资源质量低,有毒植物和牧草都被采食殆尽,甚至在过度放牧区,植物的立枯体都被采食。在植物已经停止生长的 10 月份,植物无再生能力,所以无论是 有毒植物还是牧草,其丰富度都大大降低。

研究表明植物有毒植物的生物多样性 Shannon-Wiener 指数和 Peilou 指数在时间尺度上表现出降低的趋势。这主要是由植物生长以及环境中水肥条件共同决定。在 7 月,水肥条件优越,植物进入高速生长期,有毒植物在 6 月积累的生长优势使其占据更多的水肥以及环境,同时,家畜采食引起的有毒植物超补偿生长机制使其在短时间内重建种群,所以在 7 月有毒植物生物多样性升高。8 月植物生长进入盛草期,除重度放牧区外,其他试验区内有毒植物都达到了生物多样性的最高值。可食牧草的生长达到顶峰以及草地环境资源的累计和富余,会让毒草功能群为了巩固自己的生态位,产生一部分趁虚而入的季节性毒草。家

畜的选择性采食达到顶峰,优良的可食牧草会被大量的选择性采食。这样,反而提高了有毒植物在整个群落中所占的比例。在枯黄期 9 月,草地生态系统植被基况出现巨大转变。大部分可食牧草营养物质显著降低,适口性变差。在牧草消亡期 10 月,尤其是在过度放牧区内,随着牧压的升高,一方面由于家畜的被迫采食,另一方面季节性毒草毒性的丧失和常年性毒草毒性的减弱,致使物种多样性严重降低。说明草地退化已经到不可控制的局面,有毒植物无法正常发挥维持生态系统结构和功能稳定性的作用^[16]。

3.2 放牧对有毒植物多样性的影响

在轻度放牧区,有毒植物生物多样性指数较高。虽然伴随着水肥条件的改变,有毒植物的生物多样性指数存在一定波动,但均处于较高水平。其主要原因在于家畜的选择性采食。在轻度放牧区内,家畜会优先选择采食适口性好的牧草,为有毒植物快速在种群中占据优势地位提供生长空间,试验发现,黄花棘豆的丰富度较低。可能是因为黄花棘豆是豆科有毒植物,虽然有毒,但具有一定的营养价值^[17]。轻度放牧区毒草有毒植物多样性指数均最大,说明适度干扰有毒植物对草地生产力和稳定性的维持发挥着重要作用^[18]。但在过度放牧区的生物多样性指标均降低,表明逆境条件已经超出有毒植物的阈值,草地负荷严重超出正常水平,有毒植物已经开始表现出无法发挥维持生态系统功能与结构的稳定性的功能,这从侧面验证了毒草是草地植被逆行演替的产物。

在中度放牧区,有毒植物的物种丰富度,Shannon-Wiener 指数和 Peilou 指数都保持在一个较低且稳定的水平上,说明有毒植物在群落中并未占据主要地位。适度的放牧践踏和采食,有利于可食牧草对水肥资源在草地群落中的竞争^[19]。并且在采食牧草的过程中也会一定程度的采食有毒植物,为牧草提供生存空间,所以有毒植物的物种丰富度较低,符合“中度干扰假说”^[20]。对比发现重度放牧牧区有毒植物的多样性在各时间尺度上都高于中度放牧区,这与李镇清^[21]和李永宏^[22]的研究结果一致。说明有毒植物对不同放牧强度的响应与牧草的响应是一致的。

3.3 有毒植物多样性与植物病害的关系

在过度和重度放牧区,草畜之间的动态平衡已经被打破,家畜过度的采食每种植物,是物种丰富度较低的主要原因。且由于极低的物种丰富度,不能对草地

病害发生和流行设置障碍,致使过度和重度放牧区易发生病害^[23-24]。由于食物资源的匮乏,家畜对食草地的利用方式由选择性采食变为被迫性采食,使每种植物上都有食痕;加之采食过程中无意识地对草地造成的践踏伤痕以及家畜便溺,使植物感染病毒以及真菌等病原体的概率大大增加^[25],最终造成草地病害的发生与流行,进一步降低放牧区的有毒植物以及可食牧草多样性。相比重度放牧,过度放牧区中草畜平衡关系几乎完全被打破,感染病害的草也被采食,反而可以减轻某些病害。一些家畜易携带的病原微生物,却可以借助家畜在放牧区内游走的机会扩大传播面积^[25-26]。在中度放牧区中,毒害草的物种丰富度、Shannon-Wiener 指数和 Peilou 指数都较稳定。中度放牧区中适度的有毒植物丰富度以及家畜的中度干扰,可以降低病害发生的几率。一方面,对家畜采食已发生病害的牧草,减少初侵染源;另一方面,有毒植物对草地病害的传播设置天然屏障,阻隔牧草病害的传播,使其不能大面积流行。与此同时,中度放牧区内的采食强度,有助于缩短植物的生长期,减少了寄主植物被病原体侵染的机会^[27]。

试验中所选取的家畜是高山细毛羊,所以其对草地利用方式与牛羊混牧的放牧区存在一定差异。高山细毛羊采食近地面的较低矮的植物,对植株采食更彻底,尤其是在轻度放牧区内,选择性采食达到顶峰,虽然家畜数目不多,但是依然可以对牧草形成高度的采食胁迫,为有毒植物生长提供最大的空间。研究结果表明,不同放牧区内生物多样性指数差异较大,但不同时间同一放牧区内差异较小,说明放牧是影响有毒植物生物多样性的的重要因素。并且,高山细毛羊的体重远低于天祝县常见的白牦牛,同等牧压下,两种动物的践踏模式与践踏强度完全不同^[20]。因此,白牦牛牧区有毒植物的群落特征可能与试验放牧区存在较大差异。如要继续研究祁连山东段地区有毒植物与放牧之间的关系,仍需要深入探讨不同放牧家畜在不同放牧强度下,对植被、土壤理化属性以及微生物等因素的影响。

4 结论

研究结果表明,不同放牧区内生物多样性指数差异较大,但不同时间内同一放牧区内差异较小,尤其是中度放牧区,有毒植物的 3 个生物多样性指数较低且

趋于稳定,轻度放牧区和过度放牧区有毒植物生物多样性指数较高且变化较大,说明放牧是影响有毒植物生物多样性的重要因素,中度放牧强度更有利于草地的进展演替。试验中所选取的家畜是高山细毛羊,所以其对草地利用方式与牛羊混牧的放牧区存在一定差异。高山细毛羊采食近地面的较低矮的植物,对植株采食更彻底,尤其是在轻度放牧区内,选择性采食达到顶峰,虽然家畜数目不多,但是依然可以对牧草形成高度的采食胁迫,为有毒植物生长提供最大的空间。并且,高山细毛羊的体重远低于天祝县常见的白牦牛,同等牧压下,两种动物的践踏模式与践踏强度完全不同^[21]。继续研究祁连山东段地区有毒植物与放牧之间的关系,仍需要深入探讨不同放牧家畜在不同放牧强度下,对植被、土壤理化性质以及微生物等因素的影响。

参考文献:

- [1] 金樑,孙莉,崔慧君,等. 青藏高原东缘高寒草原有毒植物分布与高原鼠兔、高原鼯鼠的相关性[J]. 生态学报, 2014,34(9):2208—2215.
- [2] 赵成章,樊胜岳,殷翠琴,等. 毒杂草性退化草地植被群落特征的研究[J]. 中国沙漠,2004,24(4):507—512
- [3] 赵宝玉,刘忠艳,万学攀,等. 中国西部草地毒草危害及治理对策[J]. 中国农业科学,2008,41(10):3094—3103.
- [4] 邢福,刘卫国,王成伟. 中国草地有毒植物研究进展[J]. 中国草地学报,2001,23(5):57—62.
- [5] 任继周. 草业科学概论[M]. 北京:科学出版社,2014.
- [6] 王明君,韩国栋,崔国文,等. 放牧强度对草甸草原生产力和多样性的影响[J]. 生态学杂志,2010,29(5):862—868.
- [7] 周华坤,周立,赵新全,等. 放牧干扰对高寒草场的影响[J]. 中国草地学报,2002,24(5):54—62.
- [8] 董全民,赵新全,马玉寿,等. 牦牛放牧强度与小嵩草高寒草甸植物群落的关系[J]. 草地学报,2005,13(4):334—339.
- [9] 邓建梅,杨顺义,沈慧敏. 12种有毒植物的化感效应比较研究[J]. 西北植物学报,2009,29(5):989—995.
- [10] 任灵,袁子茹,陈建纲,等. 东祁连山不同利用方式下高寒草甸草原土壤养分特征[J]. 甘肃农业大学学报, 2016,51(6):70—75.
- [11] 德科加. 施肥对三江源区高寒草甸初级生产力和土壤养分的影响[D]. 兰州:甘肃农业大学,2014.
- [12] 师尚礼. 草地工作技术指南[M]. 北京:金盾出版社, 2009.
- [13] 陈冀胜,郑硕. 中国有毒植物[M]. 北京:科学出版社, 1987.
- [14] 甘肃省草原总站. 甘肃草地资源[M]. 兰州:甘肃科学技术出版社,1999.
- [15] 王玉辉,何兴元,周广胜. 放牧强度对羊草草原的影响[J]. 草地学报,2002,10(1):45—49.
- [16] 兰玉蓉. 青藏高原高寒草甸草地退化现状及治理对策[J]. 青海草业,2004(1):27—30.
- [17] 徐广平,张德罡,徐长林,等. 放牧干扰对东祁连山高寒草地植物群落物种多样性的影响[J]. 甘肃农业大学学报,2005,40(6):789—796.
- [18] 王德利. 植物与草食动物之间的协同适应及进化[J]. 生态学报,2004,24(11):2641—2648.
- [19] 任珩,赵成章,安丽涓. 祁连山北坡“毒杂草”型退化草地群落生态位特征[J]. 生态学杂志,2013,32(10):2711—2715.
- [20] 柴锦隆,徐长林,杨海磊,等. 模拟践踏和降水对高寒草甸土壤物理特性和微生物数量的影响[J]. 草业学报, 2017,26(2):30—42.
- [21] 李镇清. 中国东北样带(NECT)植物群落复杂性与多样性研究[J]. 植物学报,2000,42(9):971—978.
- [22] 李永宏. 放牧影响下羊草草原和大针茅草原植物多样性的变化[J]. 植物学报,1993,35(11):877—884.
- [23] Tilman D, Lehman C. The Functional Consequences of Biodiversity, Empirical Progress and Theoretical Extensions[M]. Princeton:Princeton University Press,2001:9—41.
- [24] Keessing F, Holt R D, Ostfeld R S. Effects of species diversity on disease risk[J]. Ecology Letters, 2006, 9(4): 485—498.
- [25] 刘日出. 放牧和围封对草地植物病害的影响[D]. 兰州:兰州大学,2011.
- [26] Daleo P, Silliman B, Alberti J, et al. Grazer facilitation of fungal infection and the control of plant growth in southwestern Atlantic salt marshes[J]. Journal of Ecology, 2009, 97(4): 781—787.
- [27] Graciela García-Guzmán and Rodolfo Dirzo. Patterns of Leaf-Pathogen Infection in the Understory of a Mexican Rain Forest: Incidence, Spatiotemporal Variation, and Mechanisms of Infection[J]. American Journal of Botany, 2001, 88(4): 634—645.
- [28] 南志标,李春杰. 中国草类作物病理学研究[M]. 北京:海洋出版社,2003:3—10

Effects of different grazing intensities on the diversity of poisonous plants in alpine meadow

WANG Zhi-peng, ZHANG Zhao-jie, HUA Li-min

(College of Grassland Science, Gansu Agricultural University/Key Laboratory for Grassland Ecosystem of Ministry of Education/Pratacultural Engineering Laboratory of Gansu Province/Sino-U. S. Centers for Grazingland Ecosystem Sustainability, Lanzhou 730070, China)

Abstract: The richness index, Shannon-Wiener index and Pielou evenness index of poisonous plants in alpine meadow under different grazing intensities were studied the in the eastern Qilian Mountains. The results showed that 3 biodiversity indices of poisonous plants in lightly-grazing group were high, and the richness index and Shannon-Wiener index were significantly higher than other 3 grazing groups ($P < 0.05$), but there was no significant difference in Peilou index between lightly-grazing group and moderately-grazing group ($P > 0.05$). The monthly variation of biodiversity indices of poisonous plants in lightly-grazing group was large and significant. ($P < 0.05$). The three diversity indices of poisonous plants in overgrazing group were significantly higher than moderately-grazing and heavily-grazing groups in June, July and August ($P < 0.05$), but significantly lower in October ($P < 0.05$) than other 3 grazing groups. The richness index of poisonous plants in overgrazing group had the greatest variation among months and the difference was significant ($P < 0.05$). The biodiversity index of poisonous plants in moderately and heavily-grazing groups was lower. The richness and Shannon-Wiener indices of poisonous plants in moderately-grazing group were lower than other 3 grazing groups from June to August, but the Peilou index was higher. The biodiversity indices of moderate and severe grazing groups changed slightly among months.

Key words: alpine meadow; poisonous plant; community characteristics; temporal and spatial succession

本 刊 声 明

近期,有单位和读者向本刊反映,有中介机构或网站宣称代理《草原与草坪》征集稿件,并向投稿者收取费用,承诺可以在本刊发表文章,此举已对本刊声誉造成不良影响。对此,本刊声明如下:

1.《草原与草坪》从未设立其他采编点或分支机构,也从未委托任何单位或个人编辑出版《草原与草坪》期刊。

2.《草原与草坪》办公地点为甘肃省兰州市安宁区营门村1号,甘肃农业大学。邮箱 cyycp@gsau.edu.cn, 联系电话 0931-7631885。

3.发至《草原与草坪》编辑部邮箱的稿件视为正式投稿,不接受其他形式的投稿,本刊编辑部是通过邮件形式通知作者交纳稿件审稿费和版面费。

敬请广大作者和读者注意,谨防上当受骗。同时,本刊将依法追究侵权者的法律责任。

特此声明

《草原与草坪》编辑部